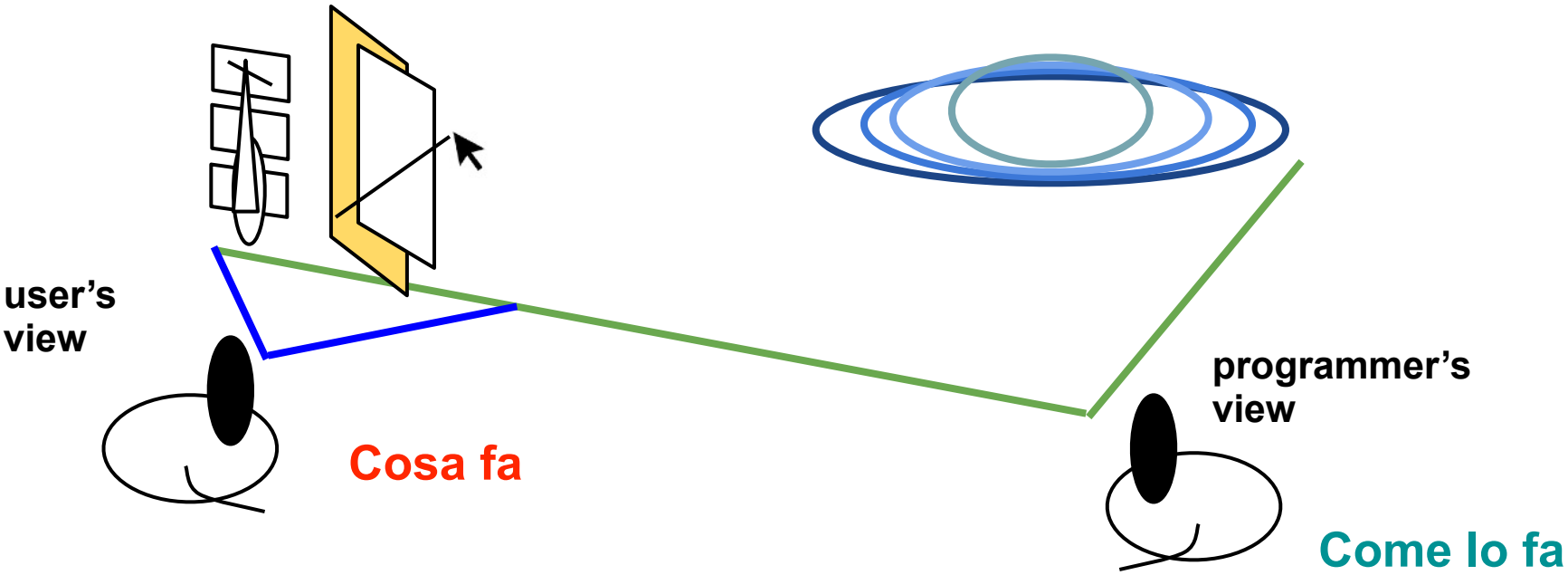
PROGRAMMAZIONE 2
7. Programming by Contract

Modularità



Quando si implementa un programma bisogna considerarsi un utente delle altre parti dalle quali il programma dipende

Contratti di uso

- Un “contratto” è l’insieme dei vincoli di uso concordati tra l’utente di un modulo software e chi implementa effettivamente il modulo
  - è una descrizione delle aspettative delle due parti

- Perché i contratti sono utili?
  - *separation of concern*: i dettagli implementativi sono mascherati all’utente che vede solo le funzionalità offerte
  - facilitano la manutenzione e il ri-uso del software

Astraiamo tramite la specifica

- ***Procedural abstraction***: separazione delle proprietà logiche di una azione computazionale dai suoi (della azione) dettagli implementativi
- ***Data abstraction***: separazione delle proprietà logiche dei dati dai dettagli della loro (dei dati) rappresentazione

Metodologia di Programmazione

- Come descriviamo la specifica?
- Come dimostriamo che una implementazione soddisfa la specifica (verifica delle proprietà logiche)?
- Cosa succede con le gerarchie di tipo?

Interfacce come contratti?

- In Java la nozione di interfaccia permette di definire esplicitamente il "confine" tra cliente e implementatore

```
public interface IntSet {
public void insert(int elem);
public void remove(int elem);
public boolean isIn(int elem);
public boolean isEmpty( );
                ...}
```

- Le interfacce in Java definiscono la sintassi e il tipo dei metodi ma non definiscono il comportamento e l'effetto atteso dell'esecuzione di un metodo
  - *Le interfacce in Java definiscono la sintassi e il tipo dei metodi di un metodo ma sintassi e tipi forniscono una informazione limitata ai clienti*

Javadoc

- non esiste una notazione formale, ma solo un insieme di convenzioni
- Javadoc: le principali convenzioni
  - Segnatura (tipo) dei metodi
  - Descrizione testuale del comportamento atteso (astrazione sul comportamento)
  - Dalla documentazione di Java
  - @param: description of what gets passed in
  - @return: description of what gets returned
  - @throws: exceptions that may occur

String.contains


```
public boolean contains(CharSequence s)
```

Returns true if and only if this string contains the specified sequence of char values.

Parameters:

s- the sequence to search for

Returns:

true if this string contains s, false otherwise

Throws:

NullPointerException

Since:

1.5

Simile ma…

- La *pre-condizione del metodo:* dichiara i vincoli che devono valere prima della invocazione del metodo (se i vincoli non sono sodddisfatti allora il contratto non vale)
  - **`@requires`**: l'obbligo del cliente
- La *post-condizione del metodo*: dichiara quali sono le proprietà che devono valere al termine dell'esecuzione del metodo (nell'ipotesi che la pre-condizione sia valida)
  - **`@modifies`**: descrive la portata delle modifiche effettuate durante l'esecuzione. Solo le entità descritte nella clausola "modifies" sono effettivamente modificate
  - **`@throws`**: le eccezioni che possono essere sollevate (come Javadoc)
  - **`@effects`**: proprietà che valgono sullo stato modificato
  - **`@return`**: il valore che viene restituito (come Javadoc)

Alternativamente

La pre-condizione del metodo: come prima

La *post-condizione del metodo*: dichiara quali sono le proprietà che devono valere al termine dell'esecuzione del metodo (nell'ipotesi che la pre-condizione sia valida)

Quindi @effects:

- descrive la portata delle modifiche effettuate durante l'esecuzione.
- le eccezioni che possono essere sollevate (come Javadoc)
- proprietà che valgono sullo stato modificato
- il valore che viene restituito (come Javadoc)

Esempio: `Vector`

```
public static int
       change(Vector vec, Object oldelt, Object newelt)

@requires     v, oldelt e newelt sono valori non-null
              oldelt appartiene a vec

@modifies     vec

@effects      la prima occorrenza del valore oldelt in
              vec viene modificata con il valore newelt
              & gli altri elementi di vec non sono
              modificati

@returns      l'indice della posizione in vec che
              conteneva il valore oldelt e che ora
              contiene il valore newelt
```

Procedura stand-alone parziale

- Che succede se il cliente dell'astrazione invoca il metodo `change` **con dei parametri che non soddisfano** le pre-condizioni del metodo?
- Il codice del metodo è libero di fare qualunque cosa dato che non è vincolato dalla pre-condizione

- È opportuno generare un ***fallimento*** piuttosto che generare dei comportamenti che possono introdurre errori (usare le eccezioni)

Esempi: specifica di procedure stand-alone

```
public class Arrays{
    public static int search(int[] a,int x)
            throws NullPointerException,NotFoundException{
    \\EFFECTS: se a e' null solleva NullPointerException,
     se x non appartiene ad a allora solleva NotFoundException,
     altrimenti restituisce un indice i tale che x=a[i]}
    public static int searchsorted(int[] a,int x)
            throws NullPointerException,NotFoundException{
   \\REQUIRES: a ordinato in modo crescente
   \\EFFECTS: se a e' null solleva NullPointerException,
     se x non appartiene ad a allora solleva NotFoundException,
     altrimenti restituisce un indice i tale che x=a[i]}
   public static void sort(int[] a,int x)
            throws NullPointerException{
         \\MODIFIES: a
   \\EFFECTS: se a e' null solleva NullPointerException
     altrimenti ordina a in modo crescente}
}
```

Commenti

- **`search`** e **`searchsorted`** non hanno effetti collaterali
- Le eccezioni vengono usate per segnalare casi particolari (devono sempre essere riportate nella specifica)
- **`sort`** modifica l'array
- **`searchsorted`** e' parziale

Implementazione

- Le procedure possono essere implementate in modi diversi
- Le implementazione di **`search`** e' corretta per **`searchsorted`** ma non sfrutta l'ordinamento
- Per esempio **`sort`** potrebbe essere implementato usando un **`quicksort`** e **`mergesort`** (altri algoritmi)
- In ogni caso il cliente delle procedure invoca i metodi in base **al comportamento descritto nella specifica** e non vede i dettagli dell'implementazione

Specifiche ed implementazioni

Supponiamo che ***Impl*** sia una possibile implementazione della specifica dell'astrazione ***S***

Impl sodddisfa S se

- ogni comportamento di ***Impl*** è un comportamento permesso dalla specifica ***S***
- "i comportamenti di ***Impl*** sono un sottoinsieme dei comportamenti specificati da ***S***"

Se ***Impl*** non soddisfa ***S***, allora ***Impl*** oppure ***S*** non sono "corretti"

- pragmaticamente è meglio cambiare l'implementazione che la specifica

Un esempio

```
public static int search(int[] a, int value) {
      for (int i = 0; i < a.length; i++)
        if (a[i] == value) return i;
      return -1;}
}
```

- **Specifica A**
  - **requires**: value è un valore memorizzato nell'array a
  - **return**: indice i tale che a[i] = value
- **Specifica B**
  - **requires**: value è un valore memorizzato nell'array a
  - **return**: il più piccolo indice i tale che a[i] = value

Sono corrette? Quali delle due e' poi forte???

Un esempio

```
public static int search(int[] a, int value) {
      for (int i = 0; i < a.length; i++)
        if (a[i] == value) return i;
      return -1;}
}
```

- **Specifica A**
  - **requires**: value è un valore memorizzato nell'array a
  - **return**: indice i tale che a[i] = value
- **Specifica B**
  - **requires**: value è un valore memorizzato nell'array a
  - **return**: il più piccolo indice i tale che a[i] = value
- **Specifica C**
  - **return**: l'indice i tale che a[i]=value, oppure -1 nel caso in cui value non sia memorizzato nell'array a

Diverse specifiche sono possibili..

- Una specifica “forte”
  - difficile da soddisfare (maggiore numero di vincoli sull’implementazione)
  - facile da usare (il cliente dell’astrazione può fare maggiori assunzioni sul comportamento)

- Una specifica “debole”
  - facile da verificare (facile da implementare, molto implementazioni la possono soddisfare)
  - difficile da usare per il minor numero di assunzioni

Una visione formale

- Una specifica è una formula logica
  - S1 è più forte di S2 se S1 implica S2
- Lo avete visto formalmente a LPP
  - trasformate la specifica in una formula logica e poi verificate l'implicazione
  - $(S1 \Rightarrow S2)$

Conclusioni

- Nel caso delle procedure stand-alone la specifica descrive gli effetti sui parametri, sui valori restituiti e gli eventuali effetti collaterali
- Meglio usare le eccezioni per controllare le proprietà dei parametri e rendere il comportamento totale vs parziale

Forme di astrazione

- ***Procedural abstraction***: separazione delle proprietà logiche di una azione computazionale dai suoi (della azione) dettagli implementativi
- ***Data abstraction***: separazione delle proprietà logiche dei dati dai dettagli della loro (dei dati) rappresentazione

Come descriviamo la specifica di una TDA?? cosa cambia??

Abstract data type

- Un **abstract data type (ADT)** è una collezione di elementi il cui comportamento logico è definito da un dominio di valori e da un insieme di operazioni su quel dominio
- ADT
  - Nome
  - Valori
  - Operazioni
  - Semantica delle operazioni

Gli ingredienti di una specifica

- Java (parte sintattica della specifica)
  - classe o interfaccia
    - ✓ per ora solo classi
  - nome per il tipo (la classe)
  - operazioni
    - ✓ metodi di istanza, incluso il/i costruttore/i
- la specifica del tipo
  - fornita dalla clausola OVERVIEW che descrive i valori astratti degli oggetti e alcune loro proprietà
    - ✓ per esempio la modificabilità
- per il resto la specifica è una specifica dei metodi
  - strutturata tramite pre-condizioni (clausola requires) e post-condizioni (clausola effects) che fa riferimento a this

ADT: visione costruttiva

- Le operazioni sono caratterizzate da una **pre-condizione** e da una **post-condizione**
- ***Precondition****: formula logica che caratterizza le proprietà e il valore degli argomenti*
- ***Postcondition****: formula logica che caratterizza il risultato calcolato dall'operazione rispetto al valore degli argomenti*

Formato della specifica

```
public class NuovoTipo {
  // OVERVIEW: Gli oggetti di tipo NuovoTipo
  // sono collezioni modificabili di …

  // costruttori
  public NuovoTipo( )
    // REQUIRES:…
    // EFFECTS: ...

  // metodi
  // specifiche degli altri metodi
}
```

IntSet 1

```
public class IntSet {
  // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
  // di interi di dimensione qualunque
//Elemento tipico{x1,…,xn}
  //costruttore
    public IntSet( )
     // EFFECTS: inizializza this all'insieme vuoto
  // metodi
    public void insert(int x)
      // EFFECTS: aggiunge x a this
    public void remove (int x)
      // EFFECTS: toglie x da this
    public boolean isIn(int x)
      // EFFECTS: se x appartiene a this ritorna true,
      // false altrimenti
...
}
```

IntSet 2

```
public class IntSet {
   ...
   // metodi
   ...
   public int size( )
      // EFFECTS: ritorna la cardinalità di this
   public int choose( ) throws EmptyException
      // EFFECTS: se this è vuoto, solleva
      // EmptyException, altrimenti ritorna un
      // elemento qualunque contenuto in this
}
```

IntSet: analisi

```
public class IntSet {
   // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
   // di interi di dimensione qualunque
//Elemento tipico{x_1,….x_n}
```

- I valori astratti degli oggetti della classe sono descritti nella specifica in termini di concetti noti
  - gli insiemi matematici
  - l'uso di una notazione matematica (in seguito)
- Gli stessi concetti sono usati nella specifica dei metodi
  - aggiungere, togliere elementi
  - appartenenza, cardinalità

`IntSet`: analisi

```
public class IntSet {
  // OVERVIEW: un IntSet è un insieme modificabile
  // di interi di dimensione qualunque
  //costruttore
    public IntSet( )
      // EFFECTS: inizializza this all'insieme vuoto
```

- Un solo costruttore (senza parametri)
  - inizializza this (l'oggetto nuovo)
  - non è possibile vedere lo stato dell'oggetto tra la creazione e l'inizializzazione

`IntSet`: analisi

```
public int size( )
       // EFFECTS: ritorna la cardinalità di this
public int choose( ) throws EmptyException
       // EFFECTS: se this è vuoto, solleva
    // EmptyException, altrimenti ritorna un
       // elemento qualunque contenuto in this
public boolean isIn(int x)
      // EFFECTS: se x appartiene a this ritorna true,
      // false altrimenti
```

- Osservatori
  - non modificano lo stato del proprio oggetto: `choose` può sollevare un'eccezione (se l'insieme è vuoto)
    - `EmptyException` può essere unchecked, perché l'utente può utilizzare `size` per evitare di farla sollevare
    - `choose` è sotto-determinata (implementazioni corrette diverse possono dare risultati diversi)

`IntSet`: analisi

```
public void insert(int x)
    //MODIFIES:this
    //EFFECTS: aggiunge x a this
public void remove (int x)
//MODIFIES:this
// EFFECTS: toglie x da this
```

- **Modificatori**
  - modificano lo stato del proprio oggetto
  - notare che né **`insert`** né **`remove`** sollevano eccezioni
    - ✓ se si inserisce un elemento che c'è già
    - ✓ se si rimuove un elemento che non c'è

Specifica di un tipo “primitivo”

- Le specifiche sono ovviamente utili **anche** per capire usare correttamente i tipi di dato “primitivi” di Java
- Vedremo, come esempio, il caso dei **vettori**
  - `Vector`
  - array dinamici che possono crescere e ridursi
  - sono definiti nel **package java.util**

Vector 1

```
public class Vector {
 // OVERVIEW: un Vector è un array modificabile
 // di dimensione variabile i cui elementi sono
 // di tipo Object: indici tra 0 e size - 1
 // costruttore
 public Vector( )
    // EFFECTS: inizializza this a vuoto
 // metodi
 public void add(Object x)
     //MODIFIES:this
    // EFFECTS: aggiunge una nuova posizione a this
    // inserendovi x
 public int size( )
    // EFFECTS: ritorna il numero di elementi di this
  ...
}
```

Vector 2

```
public Object get(int n) throws IndexOutOfBoundsException
  // EFFECTS: se n<0 o n>= this.size solleva
  // IndexOutOfBoundsException, altrimenti ritorna
  // l'oggetto in posizione n in this
public void set(int n, Object x) throws
    IndexOutOfBoundsException
  //MODIFIES:this
    // EFFECTS: se n<0 o n>= this.size solleva
    // IndexOutOfBoundsException, altrimenti modifica this
    // sostituendovi l'oggetto x in posizione n
public void remove(int n) throws IndexOutOfBoundsException
     //MODIFIES:this
 // EFFECTS: se n<0 o n>= this.size solleva
    // IndexOutOfBoundsException, altrimenti modifica this
    // eliminando l'oggetto in posizione n
```

Vector: analisi

```
public class Vector {
 // OVERVIEW: un Vector è un array modificabile
 // di dimensione variabile i cui elementi sono
 // di tipo Object: indici tra 0 e size - 1
 // costruttore
```

- Gli oggetti della classe sono descritti nella specifica in termini di concetti noti: gli **array**
- Gli stessi concetti sono anche usati nella specifica dei metodi
  - indice, elemento identificato dall'indice
- Il tipo è modificabile come l'array
- Notare che gli elementi sono di tipo **Object**
  - non possono essere int, bool o char

Vector: analisi

```
public class Vector {
 // OVERVIEW: un Vector è un array modificabile
 // di dimensione variabile i cui elementi sono
 // di tipo Object: indici tra 0 e size - 1
 // costruttore
 public Vector( )
    // EFFECTS: inizializza this a vuoto
```

- Un solo costruttore (senza parametri)
  - inizializza this (l'oggetto nuovo) a un "array" vuoto

Vector: analisi

```
public void add(Object x)
     //MODIFIES:this
//EFFECTS: aggiunge una nuova posizione a this inserendovi x
public void set(int n, Object x) throws
    IndexOutOfBoundsException
  //MODIFIES:this
//EFFECTS: se n<0 o n>= this.size solleva
// IndexOutOfBoundsException, altrimenti modifica this
 // sostituendovi l'oggetto x in posizione n
public void remove(int n) throws IndexOutOfBoundsException
   //MODIFIES:this
 //EFFECTS: se n<0 o n>= this.size solleva
   // IndexOutOfBoundsException, altrimenti modifica this
   // eliminando l'oggetto in posizione n
```

- Sono modificatori
  - modificano lo stato del proprio oggetto
  - set e remove possono sollevare un'eccezione unchecked

Vector: analisi

```
public int size( )
    // EFFECTS: ritorna il numero di elementi di this
public Object get(int n) throws IndexOutOfBoundsException
  // EFFECTS: se n<0 o n>= this.size solleva
  // IndexOutOfBoundsException, altrimenti ritorna
  // l'oggetto in posizione n in this
```

- Sono osservatori
  - non modificano lo stato del proprio oggetto
  - get può sollevare un'eccezione primitiva unchecked

Aspetti metodologici

- Per prima cosa si definisce la specifica
  - "scheletro" formato da header, overview, pre- e post- condizioni di tutti i metodi
  - mancano la rappresentazione degli oggetti e il codice dei corpi dei metodi…
    - ✓ che possono essere sviluppati in un momento successivo e indipendentemente dallo sviluppo dei "moduli" che usano il nuovo tipo di dato
    - ✓ ed è molto importante riuscire a differire le scelte relative alla rappresentazione

Un cliente di `IntSet`

```
public static IntSet getElements(int[ ] a)
                          throws NullPointerException {
  // EFFECTS: se a=null solleva NullPointerException,
  // altrimenti restituisce un insieme che contiene
  // tutti e soli gli interi presenti in a

  IntSet s = new IntSet( );
  for (int i = 0; i < a.length; i++)
      s.insert(a[i]);
  return s;
}
```

- Scritta solo conoscendo la specifica di **`IntSet`** non accedendo all'implementazione che magari non esiste ancora, ma pure se ci fosse non potrebbe "vederla"
  - costruisce, accede e modifica l'oggetto solo attraverso i metodi

Esempio: Stack modificabile

```
public interface IntStack {
public int top( );
   //se la pila non e' vuota restituisce
       //          l'elemento al top
 public void  pop();
     //se la pila non e' vuota rimuove
       //          l'elemento al top
 public void push(int x);
     //aggiunge  x al top della pila
 public int size( );
     //restituisce il numero di elementi della pila

 public boolean  isEmpty( );
    //se la pila e' vuota restituisce true
    // altrimenti false}
```

Esempio: IntStack non modificabile

```
public interface IntStack {
 public int top( );
   //se la pila non e' vuota restituisce
       //  l'elemento al top
 public IntStack  pop();
  //se la pila non e' vuota restituisce la pila da
  // cui e' stato rimosso l'elemento al top
 public IntStack push(int x);
    //se la pila non e' vuota restituisce la pila in
  // cui e' stato inserito l'elemento al top
 public int size( );
     //restituisce il numero di elementi della pila
 public boolean  isEmpty( );
    //se la pila e' vuota restituisce true
    // altrimenti false}
```

I metodi pop e push non sono modificatori ma produttori

Esercizio: per casa

Definire una classe concreta che implementa `IntStack`

Cosa bisogna fornire??
Costruttori!!!!
Specifica dei metodi

Usare `EmptyStackException` (checked) quando la pila e' vuota

Astrazioni sui dati: specifica

- Ingredienti tipici di una astrazione sui dati
- Un insieme di *astrazioni* procedurali che definiscono tutti i modi per utilizzare un insieme di *valori*
  - Creare
  - Manipolare
  - Osservare
- Creatori e produttori: meccanismi primitivi atti alla programmazione della definizione di nuovi valori
- Mutator: modificano il valore (ma non hanno effetto su **==**, non operano per effetti laterali)
- Osservatori: strumento linguistico per selezionare valori

Data abstraction via specifica

- Con la specifica, astraiamo dall'implementazione del tipo di dato (come nel caso delle procedure)
- Come si implementa un TDA?
- Dobbiamo fornire la rappresentazione (nascosta all'utente esterno, mentre è visibile all'implementazione delle operazioni) e implementare le operazioni (costruttori e metodi)
- Come si dimostra che l'implementazione soddisfa la specifica?